ЗАН. №16 ПР.№9
ПРИМЕНЕНИЕ И ПАРАМЕТРЫ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы: Ознакомиться с работой приборов оптоэлектроники:
полупроводниковые индикаторы;**оптопары**-резисторная; диодная; транзисторная; транзисторная с однопереходным транзистором; тиристорная и областью их применения.
оформить отчёт
Оценка 5 баллов-10вопросов
Оценка 4 балла-8вопросов
Оценка3 балла-6вопросов (вопросы 1-6)

Контрольные вопросы:

1. **Дать определение оптрон.**
2. **Привести УГО оптронов указанных в этой работе.**
3. **Приведите основные параметры и характеристики оптопар и оптоэлектронных интегральных микросхем.**
4. **Назовите три основные группы оптоэлектронных приборов?**
5. **Какие оптронные элементы используют для передачи информации между устройствами?**
6. **Какие параметры оптрона важны при его практическим применением?**
7. Как влияют на выбор оптрона его импульсные параметры?
8. Дайте определение: иммерсионная оптическая среда.
9. Как влияют на выбор оптрона его параметры гальванической развязки?
10. Назначение оптоэлектронного трансформатора и оптронов с открытым оптическим каналом(Рис.-8.40,8.42)

Полупроводниковые индикаторы

Наряду с рассмотренными приборами отображения информации полупроводниковые индикаторы прочно заняли свою нишу: это радиоэлектронные устройства, измерительные приборы, технологические и бытовые установки, эксплуатируемые в жилых и производственных помещениях . При этом назначение индикаторов заключается в отображении главным образом имеющейся цифровой информации, поэтому наибольшее распространение получили семисегментные цифровые индикаторы.

Полупроводниковый прибор отображения информации – это полупроводниковый излучатель энергии видимой области спектра, предназначенный для отображения.

В зависимости от структуры, конструкции, назначения полупроводниковые приборы отображения информации могут быть разделены на светоизлучающие диоды, инфракрасные ИК-диоды, полупроводниковые знаковые индикаторы, шкалы и экраны.

Одним из наиболее распространенных источников света является светодиод - полупроводниковый прибор с одним или несколькими электрическими переходами, преобразующий электрическую энергию в энергию некогерентного светового излучения.

Принцип действия излучающих полупроводниковых приборов основан на явлении электролюминесценции, т.е. излучении света телами под действием электрического поля.

Структура полупроводникового прибора отображения информации представляет собой выпрямляющий электрический переход или гетеропереход. Излучение такого прибора (светодиода) вызвано самопроизвольной рекомбинацией носителей заряда при прохождении прямого тока через выпрямляющий электрический переход. Чтобы кванты энергии – фотоны, освободившиеся при рекомбинации, соответствовали квантам видимого света, ширина запрещенной зоны исходного полупроводника должна быть относительно большой (1,5-3 эВ). К наиболее освоенным полупроводникам для изготовления светодиодов относятся арсенид галлия GaAs, фосфид галлия GaP, нитрид галлия GaN и др.

Конструкция плоского светодиода показана на рис. 8.22.

К p-n-переходу подается прямое напряжение, в результате чего происходит диффузионное перемещение носителей через него. Прохождение тока через p-n-переход сопровождается рекомбинацией инжектированных неосновных носителей. Если бы рекомбинация электронов и дырок, вводимых в выпрямляющий переход, происходила только с излучением фотонов, то внутренний квантовый выход – отношение излученных фотонов к числу рекомбинировавших пар носителей заряда за один и тот же промежуток времени – был бы равен 100 %. Однако значительная часть актов рекомбинации заканчивается выделением энергии в виде квантов тепловых колебаний – фотонов. Такие переходы называются безызлучательными.

Рис. 8.22

Внешний квантовый выход определяется отношением числа фотонов, испускаемых диодом во внешнее пространство, к числу инжектируемых носителей через p-n-переход. Внешняя квантовая эффективность (квантовый выход) светодиодов значительно ниже внутренней. Это связано с тем, что большая часть квантов света испытывает полное внутреннее отражение на границе раздела полупроводника и воздуха с возможным поглощением части фотонов. Внешний квантовый выход удается повысить при использовании полусферических структур, параболоида и др. до 30-35 % (рис. 8.23).

База n-типа выполнена в виде полусферы, область p – эмиттер. В результате угол выхода излучения существенно расширяется и резко снижаются потери на полное внутреннее отражение, поскольку световые лучи отходят к границе раздела полупроводник-воздух практически перпендикулярно. Светоизлучающие диоды служат основой для более сложных приборов, к которым относится цифробуквенный индикатор, выполненный в виде интегральной схемы из нескольких светодиодов. Они располагаются так, чтобы при соответствующих комбинациях светящихся элементов получалось изображение буквы или цифры. Матричные индикаторы содержат большое число элементов, из которых синтезируют любые знаки. В случае управляемых светодиодов размер светя-

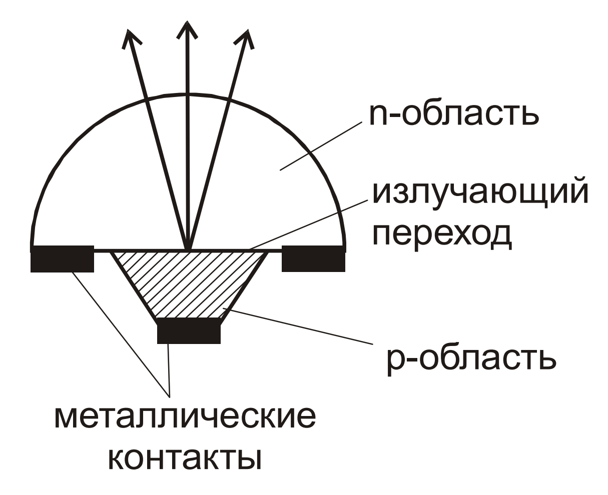


Рис. 8.23

щейся области диода зависит от уровня поданного напряжения. Такие диоды используются в качестве индикаторов настройки приборов, для записи аналоговой информации на фотопленку, как шкалы различных измерительных приборов. Принцип действия ИК-диодов такой же, как и светодиодов, различаются они только шириной запрещенной зоны.

На рис. 8.24 приведена конструкция одноразрядного знакового индикатора, в котором используется семь светодиодов и децимальная точка.

Основные параметры светодиодов – яркость и мощность излучения, прямое рабочее постоянное напряжение, наибольшее обратное напряжение, длина волны излучаемого света. Светодиоды потребляют малую мощность, имеют низкое рабочее напряжение и совместимы с интегральными схемами.

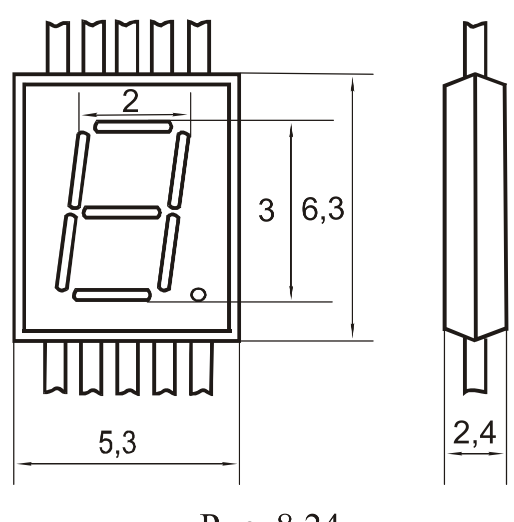


Рис. 8.24

Промышленностью выпускается ряд типов светодиодов: карбидокремниевые 2Л101А – желтое свечение, яркость 10 кд/м^2 при прямом токе 10 мА и напряжении 5 В; фосфидгаллиевые 3Л102Б – красное свечение, яркость 40 кд/м^2 при прямом токе 40 мА; АЛ102Б – зеленое свечение, яркость 50 кд/м^2 при токе 40 мА, а также многие разновидности индикаторов. Это двухразрядные КИПЦ09, КИПЦ13, КИПЦ16 и многоразрядные КИПЦ17, КИПЦ18 приборы красного и зеленого цветов свечения; двухцветные красно-зеленые индикаторы КИПЦ15 и др.

Конструкции некоторых светодиодов и их диаграммы направленности представлены на рис. 8.25.

Как видно, существуют три типа светодиодов: в металлостеклянном (АЛ102), пластмассовом (АЛ307) корпусе и бескорпусные (АЛ301).

На светодиодах ведется разработка точечно-растровых индикаторов, а также цветных точечно-растровых экранов.

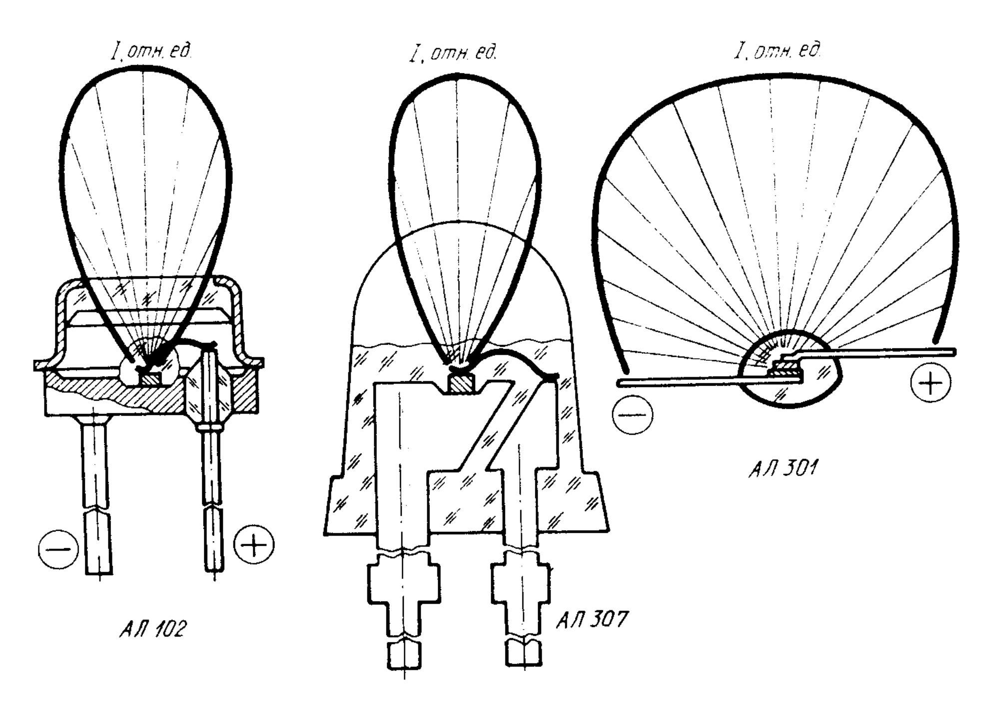


Рис. 8.25

В табл. 8.1 приведены материалы для светоизлучающих диодов и их характеристики.

Таблица 8.1

Материал	Структура энергетических зон	Цвет свечения	Длина волны λ_{max}, мкм	Световая отдача, Лм/Вт	
				типичная	максимальная
GaP : ZnO	Непрямая	Красный	0,699	0,4	3,0
GaP : N	Непрямая	Желтый	0,570	0,3	4,0
GaP : N	Непрямая	Зеленый	0,590	0,2	0,5
$GaAs_{0,35}P_{0,65}$	Непрямая	Оранжевый	0,632	0,4	0,9
$GaAs_{0,15}P_{0,85}$: N	Непрямая	Желтый	0,589	0,2	0,9
$GaAs_{0,6}P_{0,4}$	Прямая	Красный	0,649	0,15	0,4
$Ga_{0,7}Al_{0,3}As$	Прямая	Красный	0,675	-	0,4
$In_{0,42}Ga_{0,58}P$	Прямая	Оранжевый	0,617	-	0,3
SiC	Непрямая	Желтый	0,590	-	-
GaN	Прямая	Зеленый	0,575	-	-
$Ga_XAl_{1-X}As$	Прямая	ИК	0,82-0,9	-	-
GaInAsP	Прямая	Видимый, ИК	0,55-3,4	-	-

Фотоэлектрические приборы

В фотоэлектрических приборах осуществляется преобразование световой энергии в электрическую. Они являются фотоприемниками излучений. Работа большинства полупроводниковых приемников излучения основана на явлении

внутреннего фотоэффекта: изменении электропроводности при освещении. При этом происходит возбуждение электронов вещества, т.е. их переход на более высокий энергетический уровень, что приводит к изменению концентрации свободных носителей заряда и электрических свойств вещества.

Рассмотрим основные типы фотоприёмников.

Фоторезисторы

Фоторезистор – это полупроводниковый резистор, сопротивление которого изменяется под действием излучения.

Основной частью фоторезистора (рис. 8.26) является фоточувствительный слой, который может быть выполнен в виде поликристаллической плёнки полупроводника 2, нанесённого на диэлектрическую подложку 1. На поверхность фоточувствительного слоя наносят металлические электроды 3. При включении в цепь внешнего резистора (рис. 8.27) ток, протекающий в цепи, будет являться функцией светового потока Ф и напряжения U.

Пластмассовый или металлостеклянный герметичный корпус с окнами из материала, прозрачного в определенной области, обеспечивают защиту от воздействия окружающей среды. Если фоторезистор не освещён, то его темновое сопротивление велико ($10^4 - 10^7$ Ом). Фоторезистор может включаться в цепь источника ЭДС любой полярности. При освещении световым потоком (Ф) в фоторезисторе происходит генерация пар носителей, приводящая к уменьшению сопротивления.

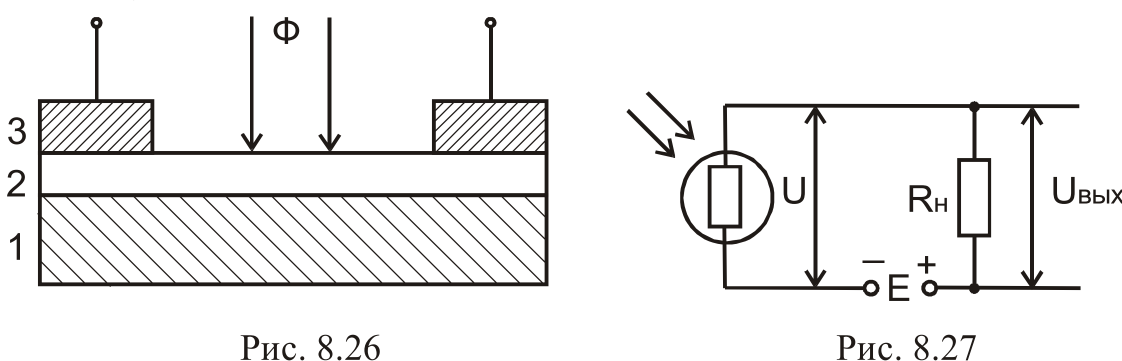


Рис. 8.26 Рис. 8.27

Классическими фоточувствительными материалами в видимой области спектра являются монокристаллические CdS и CdSe, максимум чувствительности которых расположен соответственно в области 0,5 и 0,7 мкм. Основными характеристиками фоторезистора являются: вольт-амперная I = f(U) при Ф = const (рис. 8.28, а), световая I = f(Ф) при U = const (рис. 8.28, б) и спектральная $I_ф = f(\lambda)$ (рис. 8.28, в).

Для каждого фоторезистора существует свой максимум спектральной характеристики $S_{\lambda\,max}$. Это связано с различной шириной запрещённой зоны используемых материалов. Фоторезистор можно характеризовать удельной интегральной чувствительностью К:

$$K = \frac{I_Ф}{Ф \cdot U}, \qquad (8.20)$$

где $I_Ф$ – фототок, Ф – световой поток при номинальном значении напряжения.

Недостаток фоторезисторов – зависимость сопротивления от температуры и большая инерционность, связанная с большим временем жизни электронов и дырок после прекращения облучения. Быстродействие таких фоторезисторов невелико и составляет несколько миллисекунд.

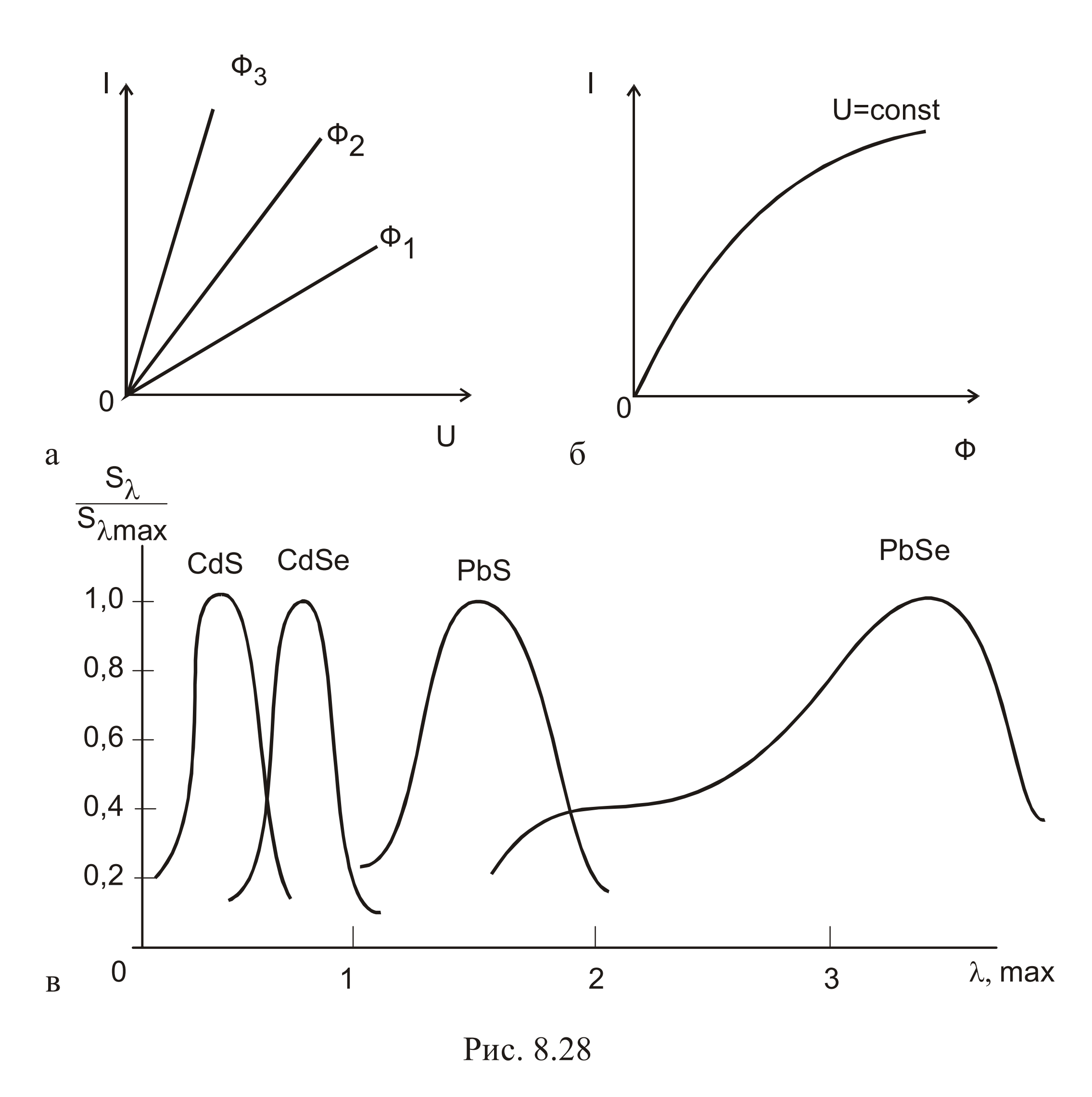


Рис. 8.28

Удельная интегральная чувствительность К различных фоторезисторов составляет от единиц до сотен мА/(В · Лм). Для изготовления ФР применяют моно- и поликристаллические пленки или спрессованные таблетки из полупроводниковых материалов, перечисленных в табл. 8.2. Использование монокристаллических плёнок дает наилучшие результаты.

Таблица 8.2

Материал	Рабочая температура, К	λ_{max}, мкм	λ_{max}, мкм	$К_Т$, МОм	τ, мс	$\frac{R_T}{R_{CB}}$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
CdS	295	0,6	0,8	15-200	10-30	70-4000	СФ2-4, СФ2-8, СФ2-12

1	2	3	4	5	6	7	8
CdSe	295	0,72	1,0	20-100	3-10	500	СФ-3-5, СФ3-8
PbS	295	2,1	2,7	0,2-1	0,4	500	ФСА-1
PbS	77	2,7	3,5	0,1-10	3	-	-
PbSe	295	3,5	4,7	До 1	$2\cdot10^{-2}$	50	СФ4-1
	77	4,8	5,5	5	$4\cdot10^{-2}$	-	-
PbTe	77	4,5	6,0	30	$3\cdot10^{-2}$	-	-
Ge : Au	60	5,0	9,5	0,1	10^{-4}	-	-
InSb	77	5,3	5,6	0,01	$6\cdot10^{-3}$	-	-
	295	6,8	7,0	0,02	$2\cdot10^{-3}$	-	-
HgCdTe	77	10,6	15,0	0,25	10^{-5}	-	-
Ge : Zn	4,2	36,0	40,0	0,25	$2\cdot10^{-5}$	-	-

Фотодиоды

Фотодиодом (ФД) называют полупроводниковый диод, имеющий прозрачное защитное окно, обратный ток которого зависит от освещённости. Изготавливаются фотодиоды на основе электронно-дырочных переходов, контактов металл-полупроводник и гетеропереходов. Структура фотодиода представлена на рис. 8.29, а.

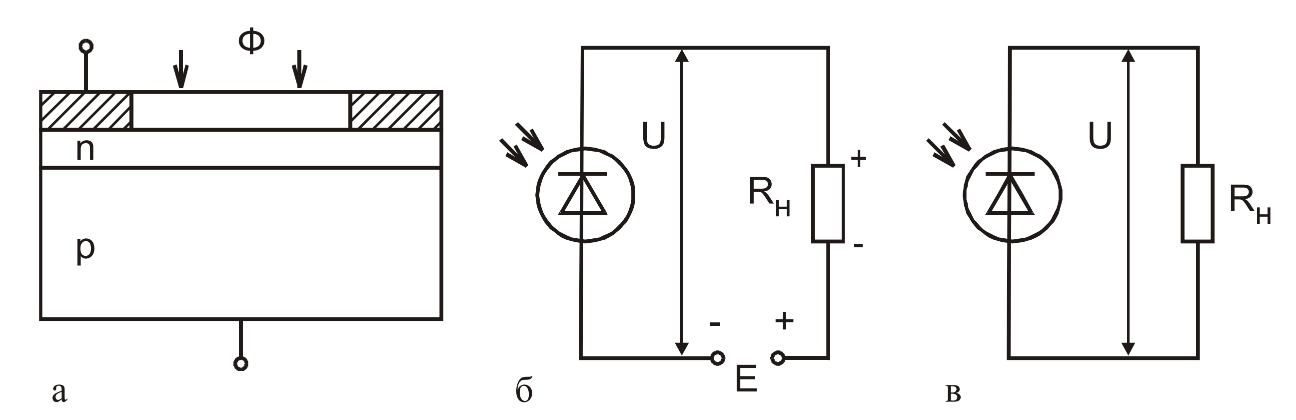


Рис. 8.29

Фотодиод может работать с внешним источником электрической энергии (фотодиодный режим, рис. 8.29, а) и без внешнего источника (фотогенераторный режим, рис. 8.29, в). При поглощении квантов света в p-n-переходе или прилегающих к нему областях образуются новые носители заряда. Неосновные носители, возникшие в прилегающих к p-n-переходу областях на расстоянии, меньшем диффузионной длины, диффундируют к p-n-переходу и проходят через него под действием электрического поля. Обратный ток возрастает при освещении на величину, равную фототоку. В рабочем режиме обратных напряжений при освещении фотодиода обратные токи практически не зависят от приложенных напряжений.

Полный обратный ток $I_{обр} = I_T + I_Ф$, где I_T — темновой ток (при Ф=0), $I_Ф$ – фототок. Фототок можно представить выражением $I_Ф = KФ$. Темновой ток фотодиода (Ф=0) представляется уравнением как в обычном p-n- переходе $I_T = I_0\left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1\right)$ при **U** < 0. Семейство вольт-амперных характеристик при Ф ≠ 0 можно записать $I_{обр} = I_0\left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1\right) + KФ$, (8.21)

где $K = \frac{I_ф}{Ф}$ - интегральная чувствительность фотодиода.

Семейство вольт-амперных характеристик при различных световых потоках изображено на рис. 8.30.

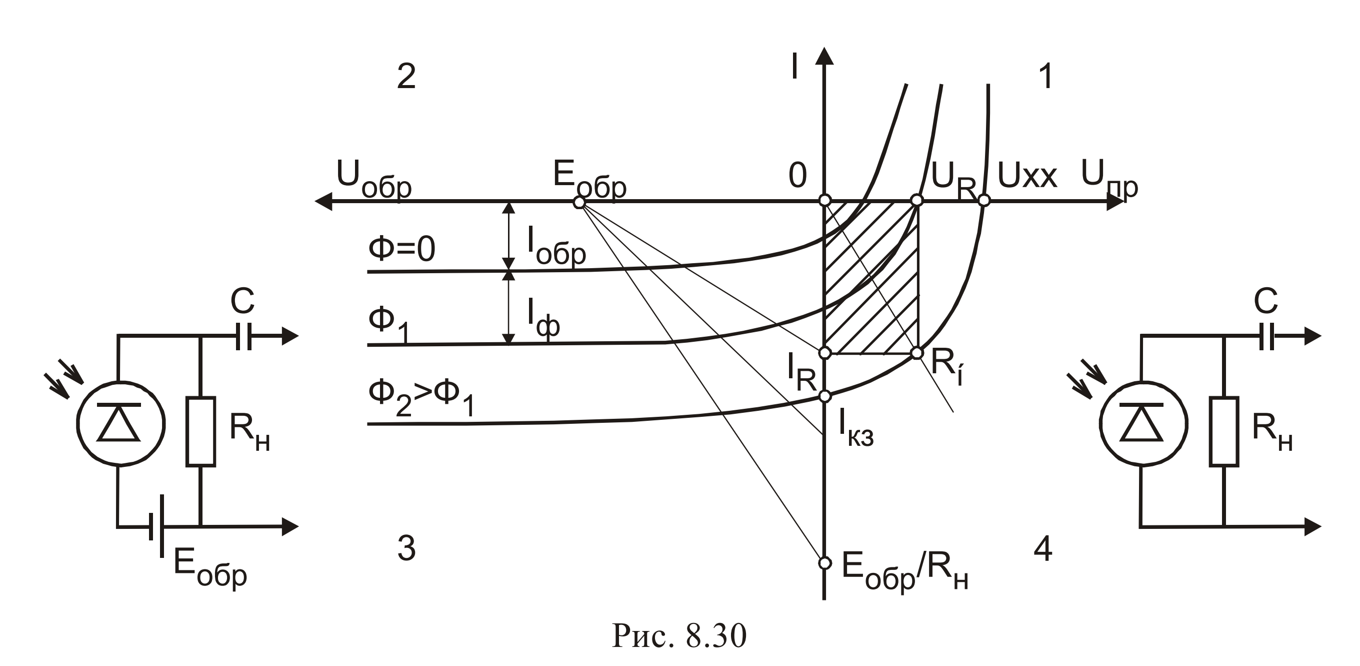


Рис. 8.30

Квадрант 1 является нерабочей областью для фотодиода, поскольку $I_{пр} >> I_ф$. Квадрант 3 - это область работы фотодиода в режиме, когда последовательно с ним включается источник обратного напряжения $E_{обр}$. Фототок увеличивается с ростом светового потока. Вид этой зависимости определяет световую (энергетическую) характеристику фотодиода $I_Ф = f(Ф)$. В большом диапазоне изменений светового потока она линейна. Квадрант 4 соответствует вентильному режиму работы ФД, который характеризуется отсутствием внешнего источника напряжения. В этом случае ФД служит генератором фотоЭДС. Для разомкнутой цепи ($R_H \to \infty$) фотоЭДС можно определить из ВАХ ФД при I = 0: $U_{xx} = \frac{kT}{e}\left(\ln\frac{I_ф}{I_0} + 1\right)$. (8.22)

С увеличением освещённости напряжение холостого хода возрастает до предельного значения, которое соответствует примерно ширине запрещённой зоны материала ФД.

В режиме короткого замыкания $(R_н \to 0)$, $I_{кз} = I_ф$, а напряжение на ФД равно нулю. Ток $I_{кз}$ возрастает линейно с интенсивностью света. В промежуточном случае, когда фотодиод нагружен на $R_н$, ток и напряжение можно найти из выражения $U_R = \frac{kT}{e}\left(\ln\frac{I_R + I_ф}{I_0} + 1\right)$,

(8.23)

где $I_R = \frac{U_R}{R_н}$.

Наибольшую энергетическую мощность ФД обеспечивает при таком режиме, когда $I_R U_R$ будет максимально.

Спектральная характеристика фотодиода аналогична соответствующим характеристикам фоторезисторов. Селеновые фотодиоды имеют спектральную характеристику, близкую по форме к спектральной зависимости чувствительности человеческого глаза.

Вентильный режим характерен для солнечных батарей фотодиодов, используемых в качестве преобразователя солнечной энергии в электрическую. Основные требования к таким элементам – минимальная стоимость при возможно большем КПД преобразования.

Для этих целей используют кремний и арсенид галлия. КПД преобразования – отношение максимальной мощности, которую можно получить от фотодиода, к полной мощности светового потока, падающего на рабочую поверхность фотодиода. Полученные реальные значения КПД 11–18 %. Фотодиоды относятся к наиболее распространённому виду фотоприёмников, т.к. обладают высокими чувствительностью, быстродействием и КПД. Они имеют ряд преимуществ перед фоторезисторами: их темновое сопротивление значительно больше, чем фоторезистора, т.к. определяется обратным током p-n-перехода и практически не зависит от приложенного напряжения; соответственно отношение $\frac{R_T}{R_{св}}$ у фотодиодов выше, порог чувствительности ФД может быть меньшим 10^{-14} Вт·Гц$^{-½}$ в результате использования существенно больших $R_н$.

Повышение чувствительности и быстродействия достигается в ФД на основе структуры типа p-i-n (p-i-n-фотодиоды). Повышенное быстродействие p-i-n ФД обусловлено малыми величинами барьерной ёмкости перехода и сопротивления объёмов p+ и n+ - областей и дрейфовому переносу фотоносителей в сильном электрическом поле.

Высокая чувствительность p-i-n ФД обусловлена резким снижением потерь фотоносителей за счёт рекомбинации.

Качественные параметры удается получить в лавинных фотодиодах (ЛФД), поверхностно-барьерных диодах Шотки, а также ФД на основе гетеропереходов.

Фототранзисторы

Как и обычные транзисторы, фототранзисторы изготавливают в виде p-n-p- и n-p-n-структур. Наибольшее распространение получила схема включения с ОЭ. Напряжение питания подаётся так же, как и в обычном биполярном транзисторе, работающем в активном режиме. Световой поток облучает область базы.

Схема включения фототранзистора и его вольт-амперные характеристики показаны на рис. 8.31, а, б.

Под воздействием света в базе генерируются электроны и дырки. У коллекторного перехода, имеющего обратное смещение, происходит разделение электронно-дырочных пар, достигших границы перехода. Дырки перебрасываются полем перехода в коллектор, увеличивая его собственный ток, а электроны остаются в базе, понижая её потенциал. На эмиттерном переходе возникает дополнительное прямое напряжение, усиливающее инжекцию дырок из эмиттера в базу. Дырки, достигая коллекторного перехода, вызывают увеличение тока коллектора.

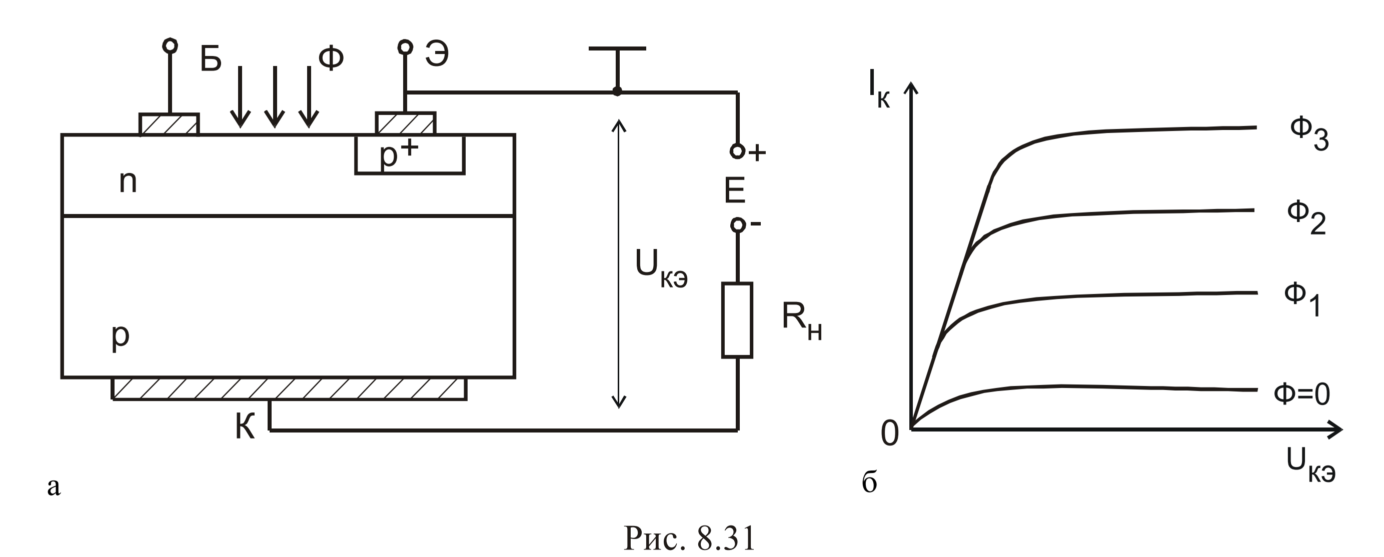


Рис. 8.31

Ток фототранзистора состоит из обратного тока коллектора $I_{к.б0}$ и фототока $I_Ф = КФ$.

$$I_{ФТ} = I_{к.б0} + КФ. \tag{8.24}$$

Если $I_б = 0$, то так же, как и в обычном транзисторе,

$$I_к = (\beta+1)I_{к.б0} + (\beta+1)К) \ . \tag{8.25}$$

Отсюда следует, что интегральная чувствительность фототранзистора в $(\beta+1)$ раз выше чувствительности фотодиода $К_{ФТ} = (\beta+1)К_{ФД}$ и достигает 0,5 А/Лм.

Наличие дополнительного p-n-перехода ухудшает быстродействие и пороговую чувствительность фототранзистора. Выходные характеристики фото-

транзисторов имеют такой же вид, как и у обычного транзистора, но параметром является световой поток. На основе МДП-структур выпускаются полевые фототранзисторы. Наибольшее распространение получили кремниевые МДП-ФТ, чувствительные в области 0,22 – 2,5 мкм. Внутреннее усиление МДП-ФТ достигает 400 при $\Delta f = 10^5$ Гц. Граничная частота полевых фототранзисторов достигает $10^7 - 10^8$ Гц, что ниже, чем у фотодиодов.

Фототиристоры

Фоторезистор представляет собой сигнал управляемого тиристора, но переключение его в открытое состояние производится световым потоком.

В фототиристорах база тиристора облучается светом, что приводит к увеличению коэффициентов передачи эмиттерных переходов. Переключение фототиристора из закрытого состояния в открытое происходит при увеличении суммарного коэффициента передачи по току тиристорной структуры до единицы $\alpha_1 + \alpha_2 \to 1$.

Увеличение коэффициентов передачи может происходить в результате увеличения тока через тиристорную структуру при поглощении квантов света в базовых областях при их освещении. Чем больше световой поток, действующий на тиристор, тем при меньшем напряжении включается фототиристор. Фототиристор остаётся во включенном состоянии после окончания импульса светового потока. Для его выключения необходимо уменьшить напряжение или ток до значений, меньших удерживающих.

Структурная схема фототиристора (а) и его вольт-амперная характеристика (б) приведены на рис. 8.32.

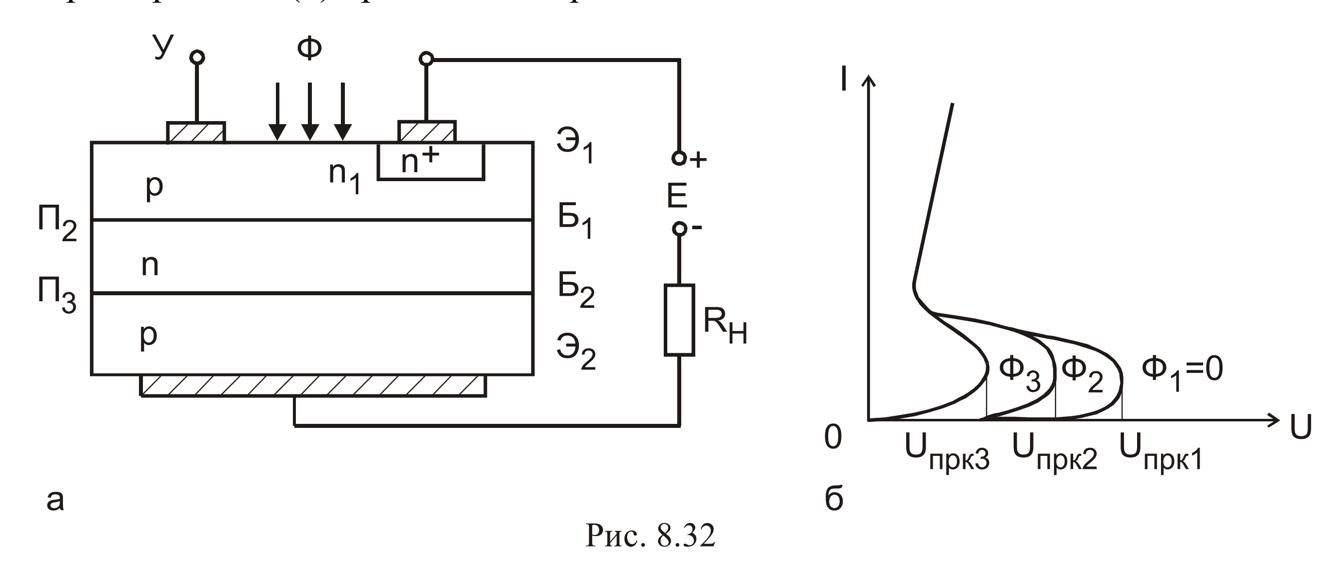


Рис. 8.32

Оптоэлектронные приборы

В оптоэлектронном полупроводниковом приборе происходит излучение или преобразование электромагнитной энергии.

На основе излучательных приборов и фотоприемников разработан целый ряд оптоэлектронных полупроводниковых приборов (рис. 8.33).

Достоинства таких приборов базируются на общем оптоэлектронном использовании электрически нейтральных фотонов для переноса информации.

Отметим лишь некоторые из них:

– возможность обеспечения идеальной электрической развязки между входом и выходом;

– возможность реализации бесконтактного управления электронными объектами и обусловленные этим разнообразие и гибкость конструкторской мысли при создании управляющих цепей;

– однонаправленность распространения информации по оптическому каналу, отсутствие обратной реакции приемника на излучатель;

– широкая частотная полоса пропускания оптрона, отсутствие ограничения низких частот, возможность передачи по оптронной цепи, как импульсного сигнала, так и постоянной составляющей;

– возможность создания функциональных микроэлектронных устройств с фотоприемниками, характеристики которых при освещении изменяются по заданному закону;

– невосприимчивость оптических каналов связи к воздействию электромагнитных полей, что в случае «длинных» оптронов обусловливает их защищенность от помех и утечки информации, а также взаимных наводок;

– физическая и конструктивно-технологическая совместимость с другими полупроводниковыми и микроэлектронными приборами.

Оптроном называют такой оптоэлектронный прибор, в котором имеются светоизлучатель и фотоприемник с тем либо иным видом электрической связи между ними, конструктивно связанные друг с другом.

В качестве излучателя могут быть использованы светоизлучающий диод, инфракрасный излучающий диод, электролюминесцентный порошковый или пленочный излучатель, а также полупроводниковый лазер.

В качестве фотоприемного элемента, как видно из рис. 8.33 могут быть использованы фоторезистор, фотодиод, биполярный фототранзистор, однопереходный транзистор или фототиристор. В зависимости от вида фотоприемного элемента различают резисторные, диодные, транзисторные и тиристорные оптопары. Излучающий и фотоприемный элемент оптопары помещают в общий корпус.

На рис. 8.34 приведены примеры схемного обозначения различных оптопар:

а - резисторная;
б - диодная;
в - транзисторная;
г - транзисторная с однопереходным транзистором;
д - тиристорная.

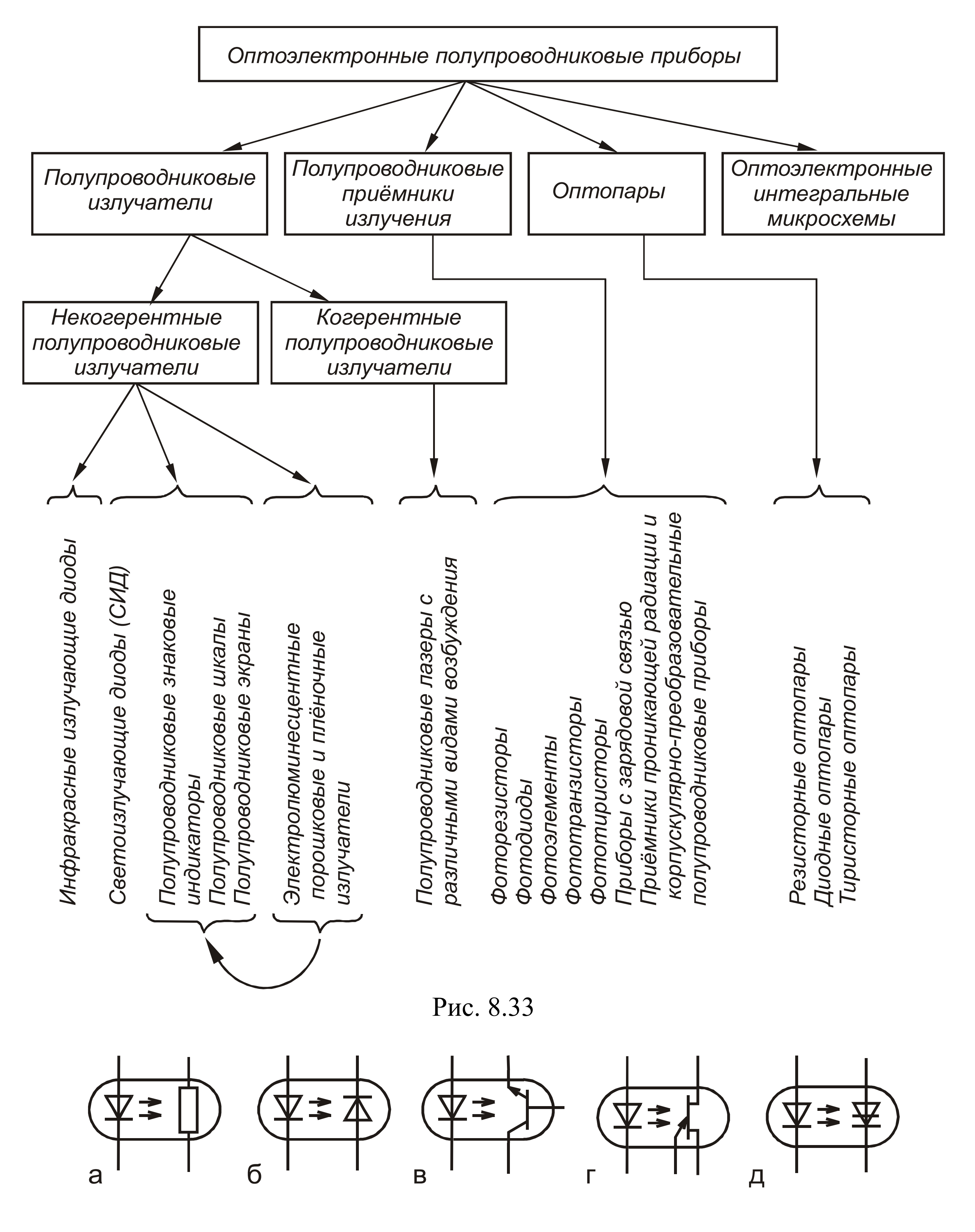


Рис. 8.33

Рис. 8.34

Принцип действия оптронов любого вида основан на преобразовании в излучателе электрического сигнала в световой. В фотоприемнике световой сигнал вызывает электрический отклик. Изменение входного тока – тока через по-

лупроводниковый излучатель – сопровождается изменением мощности его излучения и изменением потока фотонов, падающих на фотоприемный элемент оптопары. При изменении облучения фотоприемного элемента происходит изменение сопротивления фоторезистора, либо изменение обратного тока фотодиода, либо появления фотоЭДС при работе фотодиода в режиме фотоэлемента, либо усиление фототока в фототранзисторе, либо переключение из закрытого состояния фототранзистора в открытое. Для существования хорошей оптической связи между элементами оптопары кроме их соответствующего расположения необходимо по возможности более близкое совпадение спектральных характеристик этих элементов.

По степени сложности структурной схемы среди изделий оптронной техники выделяют две группы приборов. Оптопара («Элементарный оптрон») представляет собой оптоэлектронный полупроводниковый прибор, состоящий из излучающего и фотоприемного элементов, между которыми имеется оптическая связь, обеспечивающая электрическую изоляцию между выходом и входом. Оптоэлектронная интегральная микросхема представляет собой микросхему, состоящую из одной или нескольких оптопар и электрически соединенных с ними одного или нескольких согласующих или усилительных устройств. Таким образом, в электронной цепи такой прибор выполняет функцию элемента связи, в котором в то же время осуществлена электрическая (гальваническая) развязка входа и выхода.

Как элемент связи оптрон характеризуется коэффициентом передачи К, определяемый отношением выходного и входного сигналов и максимальной скоростью передачи коэффициента информации. Вместо коэффициента информации измеряют длительность нарастания и спада передаваемых импульсов $t_{нар(сп)}$ или граничную частоту. Возможности оптрона как элемента гальванической развязки характеризуются максимальным напряжением и сопротивлением $U_{разв}$, $R_{разв}$ и проходной емкостью $C_{разв}$.

Обобщенная структурная схема оптрона приведена на рис. 8.35.

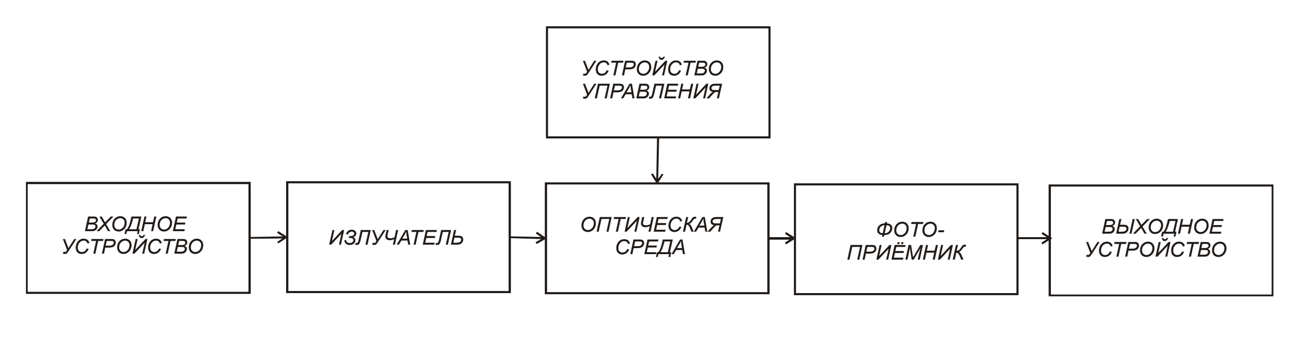


Рис. 8.35

Входное устройство служит для оптимизации рабочего режима излучателя (например, смещения светодиода на линейный участок вольт-амперной характеристики) и преобразования (усиления) внешнего сигнала. Входной блок должен обладать высоким КПД преобразования, высоким быстродействием, широким динамическим диапазоном допустимых входных токов (для линейных

систем), малым значением «порогового» входного тока, при котором обеспечивается надежная передача информации по цепи.

Назначение оптической среды – передача оптического сигнала от излучателя к фотоприемнику, а также обеспечение механической целостности конструкции.

Принципиальная возможность управления оптическими свойствами среды, например, с помощью использования электрооптических или магнитооптических эффектов, отражается введением в схему устройства управления. В этом случае получается оптрон с управляемым оптическим каналом, функционально отличающийся от «обычного» оптрона: изменение выходного сигнала может осуществляться как по входу, так и по цепи управления.

В фотоприемнике происходит восстановление информационного сигнала из оптического в электрический, при этом стремятся иметь высокую чувствительность и высокое быстродействие.

Выходное устройство призвано преобразовывать сигнал фотоприемника в стандартную форму, удобную для воздействия на последующие за оптроном каскады. Обязательной функцией выходного каскада является усиление сигнала, т.к. потери после двойного преобразования очень значительны. Часто функции усилителя выполняет и сам фотоприемник (например фототранзистор).

Общая структурная схема реализуется в каждом конкретном случае лишь частью блоков. В соответствии с этим выделяют три основные группы приборов оптронной техники: оптопары (элементарные оптроны); оптоэлектронные (оптронные) микросхемы (оптопары с добавлением выходного, а иногда и входного устройства); специальные виды оптронов - приборы, функционально и конструктивно существенно отличающиеся от элементарных оптронов и оптоэлектронных ИС.

В качестве элементов гальванической развязки оптроны применяются для связи блоков аппаратуры, между которыми имеется значительная разность потенциалов; для защиты входных цепей измерительных устройств от помех и наводок.

Другая важная область применения оптронов – оптическое, бесконтактное управление сильноточными и высоковольтными цепями; запуск мощных тиристоров, управление электромеханическими релейными устройствами.

Специфическую группу управляющих оптронов составляют резисторные оптроны, предназначенные для слаботочных схем коммутации в сложных устройствах визуального отображения информации, выполненных на электролюминесцентных (порошковых) индикаторах, мнемосхемах, экранах.

Создание «длинных» оптронов (приборов с протяженным гибким волоконно-оптическим световодом) открыло совершенно новое направление в применении изделий оптронной техники – связь на коротких расстояниях.

Различные оптроны (диодные, резисторные, транзисторные) находят применение и в чисто радиотехнических схемах модуляции, автоматической регулировки усиления и др.

Воздействие по оптическому каналу используется здесь для вывода схемы в оптимальный рабочий режим, для бесконтактной перестройки режима.

Возможность изменения свойств оптического канала при различных внешних воздействиях на него позволяет создать целую серию оптронных дат-

чиков: датчики влажности и загазованности, датчики наличия в объеме той или иной жидкости, датчики чистоты обработки поверхности предмета, скорости его перемещения.

Достаточно специфическим является использование оптронов в энергетических целях, т.е. работа диодного оптрона в фотовентильном режиме. В таком режиме фотодиод генерирует электрическую мощность в нагрузку, и оптрон до определенной степени подобен маломощному вторичному источнику питания, полностью развязанному от первичной цепи.

Создание оптронов с фоторезисторами, свойства которых при освещении меняются по заданному сложному закону, позволяет моделировать математические функции и является шагом на пути создания функциональной оптоэлектроники.

Универсальность оптронов как элементов гальванической развязки бесконтактного управления, разнообразие и универсальность многих других функций являются причиной того, что сферами применения этих приборов стали вычислительная техника, автоматика, связная и радиотехническая аппаратура, автоматизированные системы управления, измерительная техника, системы контроля и регулирования, медицинская электроника, устройства визуального отображения информации.

8.12. Элементная база оптронов

Элементную базу оптронов составляют фотоприемники и излучатели, а также оптическая среда между ними.

Функционально оптрон характеризуется в первую очередь видом фотоприемника.

В оптронах используются фотоприемники различных структур, чувствительные в видимой и ближней инфракрасной области, т.к. именно в этом диапазоне спектра имеются интенсивные источники излучения и возможна работа фотоприемников без охлаждения.

Наиболее универсальными являются фотоприемники с p-n-переходами. В большинстве случаев они изготавливаются на основе кремния и область их максимальной спектральной чувствительности находится вблизи λ=0,7-0,9 мкм.

Требования, предъявляемые к излучателям: спектральное согласование с выбранным фотоприемником; высокая эффективность преобразования энергии электрического тока в энергию излучения; преимущественная направленность излучения; высокое быстродействие, простота и удобство возбуждения и модуляции излучения.

Основным наиболее универсальным видом излучения, используемым в оптронах, является полупроводниковый инжекционный светодиод.

Общими требованиями, предъявляемыми к иммерсионной оптической среде оптрона, являются: высокое значение показателя преломления $n_{им}$; высокое значение удельного сопротивления $\rho_{им}$, высокая критическая напряжен-

ность поля $E_{им.\ кр}$, достаточная теплостойкость $D_{им}$, хорошая адгезия с кристаллами кремния и арсенида галлия, эластичность; механическая прочность.

Основным видом иммерсионной среды, используемой в оптронах, являются полимерные оптические клеи.

Для них типично $n_{им}$=1,4-1,6; $\rho_{им}>10^{12}$-10^{14} Ом·см.

$E_{им.\ кр}$=80 кВ/мм, $D_{им.\ раб}$=60-120 °С. Кроме клеев используются вазелиноподобные, каучукоподобные оптические среды.

8.13. Параметры и характеристики оптопар и оптоэлектронных интегральных микросхем

Выделяются три основные группы изделий оптронной техники: оптопары, оптоэлектронные интегральные микросхемы и специальные типы оптронов. Для наиболее распространенных оптопар используются обозначения Д – диодная, Т – транзисторная, Р – резисторная, У – тиристорная, 2Т – с составным фототранзистором, ДТ – диодно-транзисторная, 2Д (2Т) – диодная (транзисторная) дифференциальная.

Система параметров изделий оптронной техники базируется на системе параметров оптопар, которая формируется из четырех групп параметров и режимов.

Первая группа характеризует входную цепь оптопары (входные параметры), вторая – ее выходную цепь, третья – объединяет параметры, характеризующие степень воздействия излучателя на фотоприемник и связанные с этим особенности прохождения сигнала через оптопару как элемент связи (параметры передаточной характеристики), четвертая группа объединяет параметры гальванической развязки, значения которых показывают, насколько приближается оптопара к идеальному элементу развязки. Определяющими «оптронными» являются параметры передаточной характеристики и параметры гальванической развязки.

Важнейшим параметром диодной и транзисторной оптопар является коэффициент передачи тока.

Определение импульсных параметров показано на рис. 8.36, а, б.

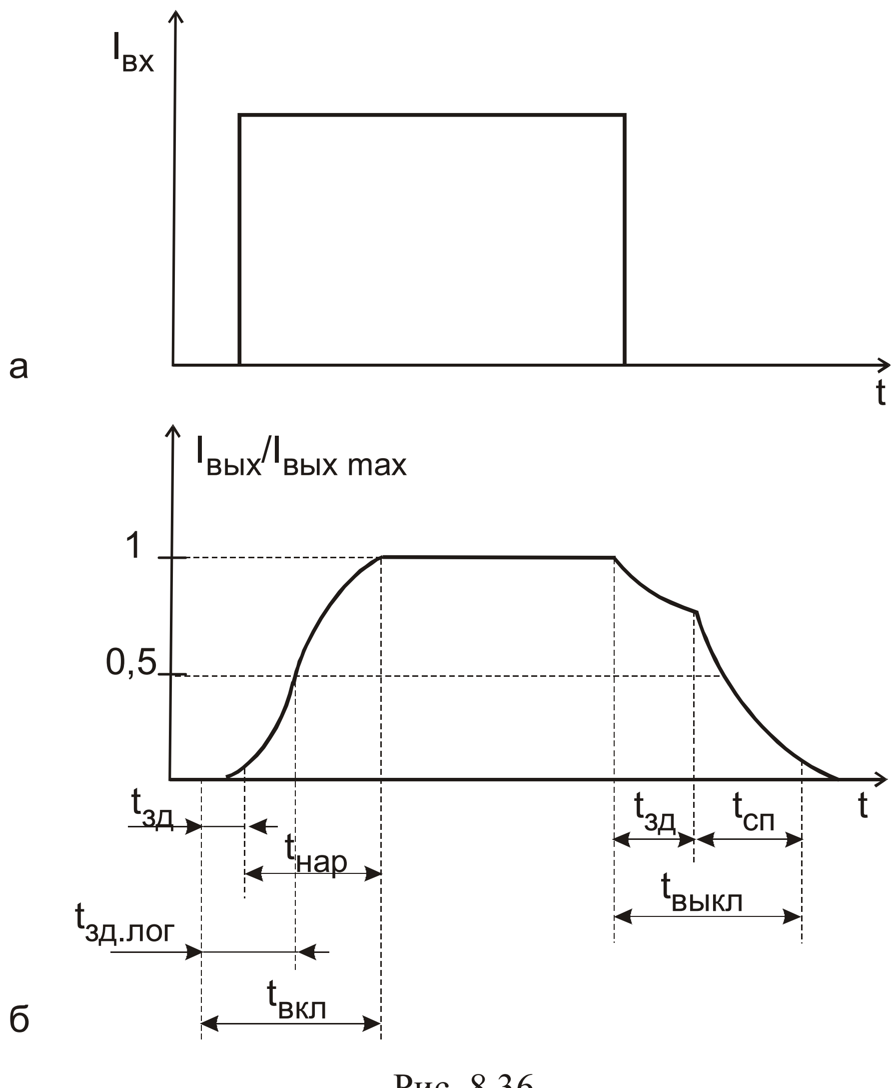


Рис. 8.36

Отсчетными уровнями при измерении параметров $t_{нар(сп)}$, $t_{зд}$, $t_{вкл(выкл)}$ обычно являются уровни 0,1 и 0,9, а полное время логической задержки сигнала определяется по уровню 0,5 амплитуды импульса.

Параметрами гальванической развязки оптопар являются: максимально допустимое пиковое напряжение между входом и выходом $U_{разв\ п\ max}$; максимально допустимое напряжение между входом и выходом $U_{разв\ max}$; сопротивление гальванической развязки $R_{разв}$; проходная емкость $C_{разв}$; максимально допустимая скорость изменения напряжения между входом и выходом $\left(\frac{dU_{разв}}{dt}\right)_{max}$. Важнейшим является параметр $U_{разв\ max}$. Именно он определяет электрическую прочность оптопары и ее возможность как элемента гальванической развязки.

Диодные оптопары

Диодные оптопары в большей степени, чем другие приборы, характеризуют уровень оптронной техники. По величине K_i можно судить о достигнутых

КПД преобразования энергии в оптроне; значения временных параметров позволяют определить предельные скорости распространения информации. Подключение к диодной оптопаре тех или иных усилительных элементов весьма полезно и удобно, но тем не менее не может дать выигрыша ни по энергетике, ни по предельным частотам.

Транзисторные и тиристорные оптопары

Транзисторные оптопары рядом своих свойств выгодно отличаются от других видов оптронов. Это заключается прежде всего в схемотехнической гибкости, проявляющейся в том, что коллекторным током можно управлять как по цепи светодиода (оптически), так и по базовой цепи (электрически), а также в том, что выходная цепь может работать и в линейном, и в ключевом режиме. Механизм внутреннего усиления обеспечивает получение больших значений коэффициента передачи тока K_i, так что последующие усилительные каскады не всегда необходимы. Инерционность оптопары при этом не очень велика и для многих случаев вполне допустима. Выходные токи фототранзистора значительно выше, чем фотодиода, что делает фототранзисторы пригодными для коммутации широкого круга электрических цепей.

Тиристорные оптопары наиболее перспективны для коммутации сильноточных высоковольтных цепей: по сочетанию мощности, коммутируемой в нагрузке и быстродействию, они явно предпочтительнее T^2-оптопар. Оптопары типа АОУ103 предназначены для использования в качестве бесконтактных ключевых элементов в различных радиоэлектронных схемах; в цепях управления, усилителях мощности, формирователях импульсов.

Резисторные оптопары

Резисторные оптопары принципиально отличаются от всех других видов оптопар физическими и конструктивно-технологическими особенностями, а также составом и значениями параметров.

В основе принципа действия фоторезистора, как уже упоминалось, лежит эффект фотопроводимости, т.е. изменения ее при освещении.

Дифференциальные оптопары для передачи аналогового сигнала

Передача аналоговой информации с помощью оптопары представляет собой важную задачу. В этом случае необходимо обеспечить линейность передаточной характеристики вход-выход. Лишь при наличии таких оптопар становится возможным непосредственное распространение аналоговой информации по гальваническим развязкам цепи без преобразования ее к цифровой форме.

Выполнение этой задачи, как показывает анализ различных оптопар, возможно только с помощью диодных оптопар, обладающих характерными частотными и импульсными характеристиками.

Сложность проблемы заключается прежде всего в узком диапазоне линейности передаточной характеристики и степени этой линейности у диодных оптопар.

8.14. Оптоэлектронные микросхемы и другие приборы оптронного типа

Оптоэлектронные микросхемы представляют собой один из наиболее широко применяемых, развивающихся, перспективных классов изделий оптронной техники. Это обусловлено полной электрической и конструктивной совместимостью оптоэлектронных микросхем, а также их более широким по сравнению с элементарными оптронами функциональными возможностями. Наибольшее распространение получили переключательные оптоэлектронные микросхемы.

Специальные виды оптронов резко отличаются от традиционных оптопар и оптоэлектронных микросхем. К ним относятся прежде всего оптроны с открытым оптическим каналом. В конструкции этих приборов между излучателем и фотоэлементом имеется воздушный зазор, так что, помещая в него те или иные механические преграды, можно управлять световым потоком и, следовательно, выходным сигналом оптрона. Таким образом, оптроны с открытым оптическим каналом выступают в качестве оптоэлектронных датчиков, фиксирующих наличие (или отсутствие) предметов, состояние их поверхности, скорость перемещения или поворота и др.

Сферы применения оптронов и оптронных схем

Оптроны и оптронные микросхемы эффективно применяются для передачи информации между устройствами, не имеющими замкнутых электрических связей. Традиционно сильными остаются позиции оптоэлектронных приборов в технике получения и отображения информации. Самостоятельное значение в этом направлении имеют оптронные датчики, предназначенные для контроля процессов и объектов, весьма различных по природе и назначениям. Заметно прогрессирует функциональная оптронная микросхемотехника, ориентированная на выполнение различных операций, связанных с преобразованием, накоплением и управлением информации. Эффективной и полезной оказывается замена громоздких электромеханических изделий (трансформаторов, потенциометров, реле) оптоэлектронными приборами и устройствами. Достаточно специфическим является использование оптронных элементов в энергетических целях.

Передача информации

На рис. 8.37 приведена схема межблочной гальванической развязки.

При передаче информации оптопары используют в качестве элементов связи и, как правило, не несут самостоятельной функциональной нагрузки. Их применение позволяет осуществить весьма эффективную гальваническую развязку устройств управления и нагрузки, действующих в различных электрических условиях и режимах. С введением оптронов резко повышается помехоустойчивость каналов связи; практически устраняются «паразитные» взаимодействия по цепям «земли» и питания. Представляет интерес надежное и рациональное согласование цифровых интегральных устройств с разнородной элементной базой (ТТЛ, ЭСЛ, И^{2}Л, КМОП и т.п.).

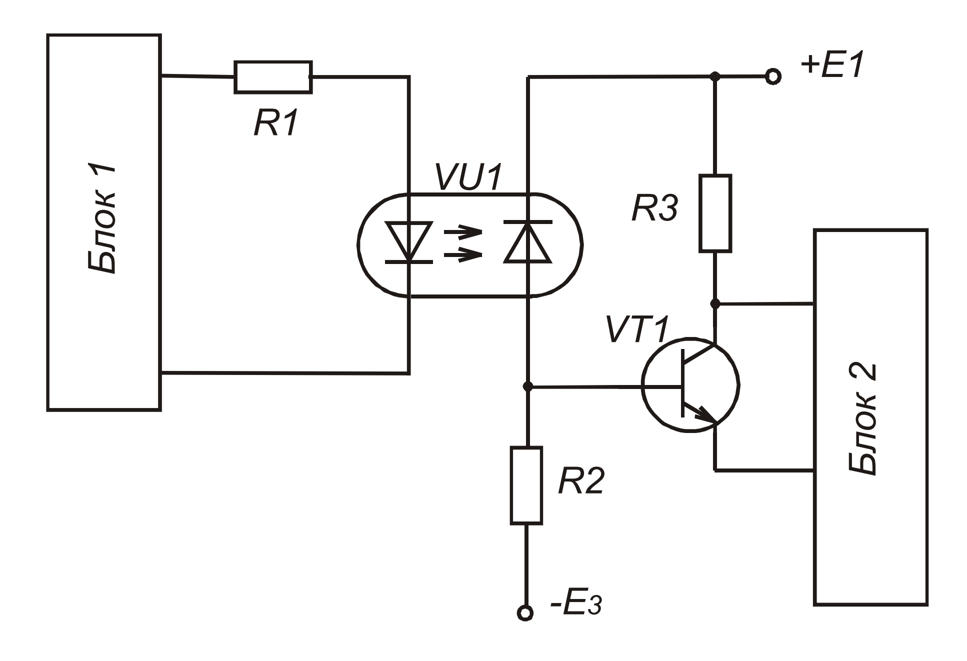


Рис. 8.37

Схема согласования элемента транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) с интегральным устройством на МДП-транзисторах построена на транзисторном оптроне (рис. 8.38). В данной схеме светодиод оптрона возбуждается током, достаточным для насыщения транзистора и уверенного управления устройством на МДП-транзисторах.

Оптические связи активно используются в телефонных устройствах и системах. С помощью оптронов технически несложными средствами удается подключить к телефонным линиям микроэлектронные устройства, предназначенные для вызова, индикации, контроля и других целей. Введение оптических связей в электронную измерительную аппаратуру, кроме полезной гальванической развязки исследуемого объекта и измерительного прибора, позволяет резко уменьшить влияние помех, действующих по цепям заземления и питания.

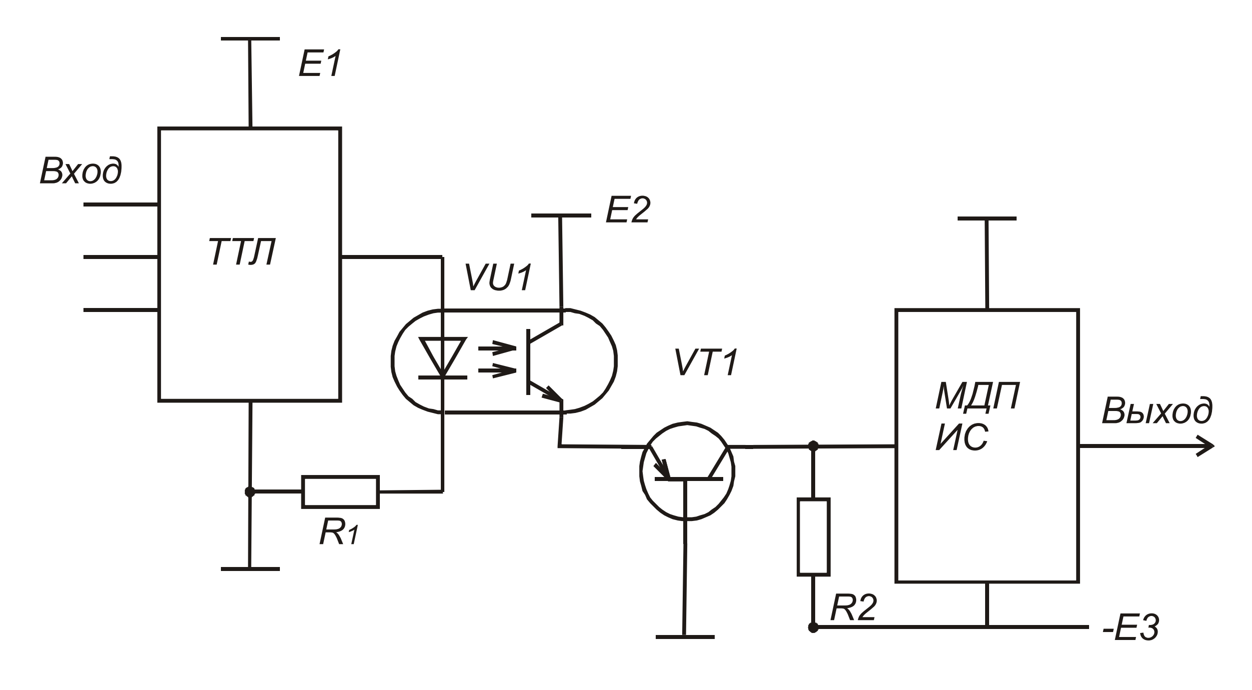


Рис. 8.38

Значительный интерес представляют возможность и опыт использования оптоэлектронных приборов и устройств в биомедицинской аппаратуре. Оптроны позволяют надежно изолировать больного от действия высоких напряжений, имеющихся, например, в электрокардиографических приборах.

Бесконтактное управление мощными, высоковольтными цепями по оптическим каналам весьма удобно и безопасно в сложных технических режимах, характерных для любых устройств и комплексов промышленной электроники. В этой области преобладающая роль принадлежит тиристорным оптронам (рис. 8.39), где представлена схема коммутации нагрузки переменного тока.

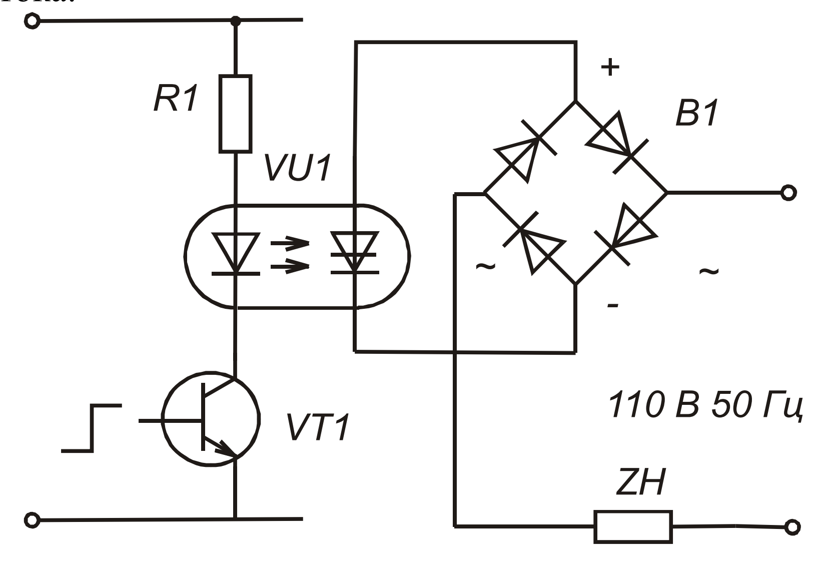


Рис. 8.39

Получение и отображение информации

Оптроны, оптоэлектронные микросхемы занимают прочные позиции в бесконтактной технике оперативного получения и точного отображения информации о характеристиках и свойствах весьма различных процессов и объектов. В этом плане уникальными являются оптроны с открытым оптическим каналом. Среди них оптоэлектронные прерыватели, реагирующие на пересечение оптического канала непрозрачными объектами, и отражательные оптроны, у которых воздействие светоизлучателей на фотоприемник всецело связано с отражением излучаемого потока от внешних объектов. Схема оптоэлектронного датчика приведена на рис. 8.40.

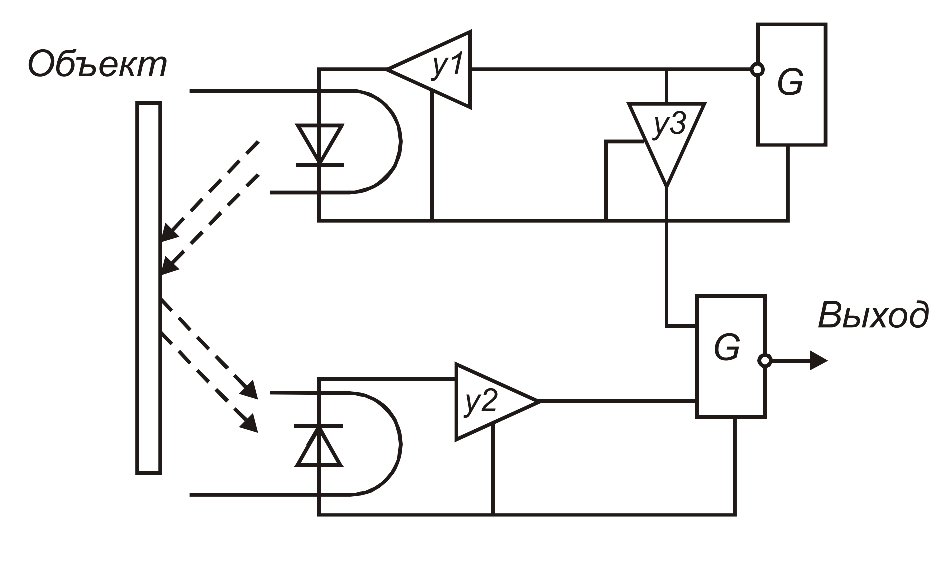


Рис. 8.40

Оптроны подобного типа эффективно используются для регистрации предметов и объектов. При такой регистрации, характерной для устройств автоматического контроля и счета объектов, а также для обнаружения и индикации различного рода дефектов и отказов, важно четко определить местонахождение объекта или отразить факт его существования.

Контроль электрических процессов

Мощность излучения, генерируемая светодиодом, и уровень фототока, возникающего в линейных цепях с фотоприемниками, прямо пропорциональны току электрической проводимости излучения. Таким образом, по оптическим (бесконтактным, дистанционным) каналам можно получить вполне определенную информацию о процессах в электрических цепях, гальванически связанных с излучателем. Особенно эффективным оказывается использование светоизлучателей оптронов в качестве датчиков электрических изменений в сильноточных высоковольтных цепях. Четкая информация о подобных изменениях важна для оперативной защиты источников и потребителей энергии от электрических перегрузок.

Успешно применяются оптроны в высоковольтных стабилизаторах напряжения (рис. 8.41), где они создают оптические каналы отрицательных обратных связей.

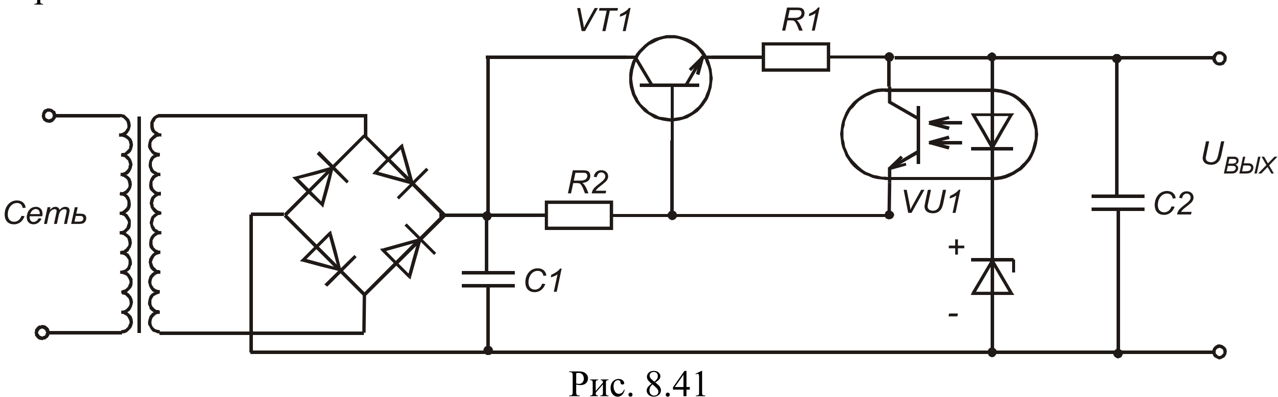


Рис. 8.41

Приведенный стабилизатор относится к устройству последовательного типа, причем регулирующим элементом является биполярный транзистор, а приемный стабилитрон действует как источник опорного (эталонного) напряжения. Сравнивающим элементом является светодиод. Если выходное напряжение в схеме возрастает, то увеличивается и ток проводимости светодиода. Фототранзистор оптрона воздействует на транзистор, подавляя возможную нестабильность выходного напряжения.

Замена электромеханических изделий

В комплексе технических решений, ориентированных на повышение эффективности и качества устройств автоматики, радиотехники, электросвязи, промышленной и бытовой электроники, целесообразной и полезной мерой является замена электромеханических изделий (трансформаторов, реле, потенциометров, реостатов, кнопочных и клавишных переключателей) более компактными, долговечными, быстродействующими аналогами. В этом направлении ведущая роль принадлежит оптоэлектронным приборам и устройствам. Управление компактными и быстродействующими оптоэлектронными трансформаторами, переключателями реле уверенно осуществляется с помощью интегральных микросхем цифровой техники без специальных средств электрического согласования.

На рис. 8.42 приведена схема оптоэлектронного трансформатора.

В энергетическом режиме оптроны используются в качестве вторичных источников ЭДС и тока. Хотя КПД оптронных преобразователей невелик, однако возможность введения дополнительного источника напряжения или тока в любую цепь устройства без гальванической связи с первичным источником питания позволяет разработчику решать нестандартные технические задачи.

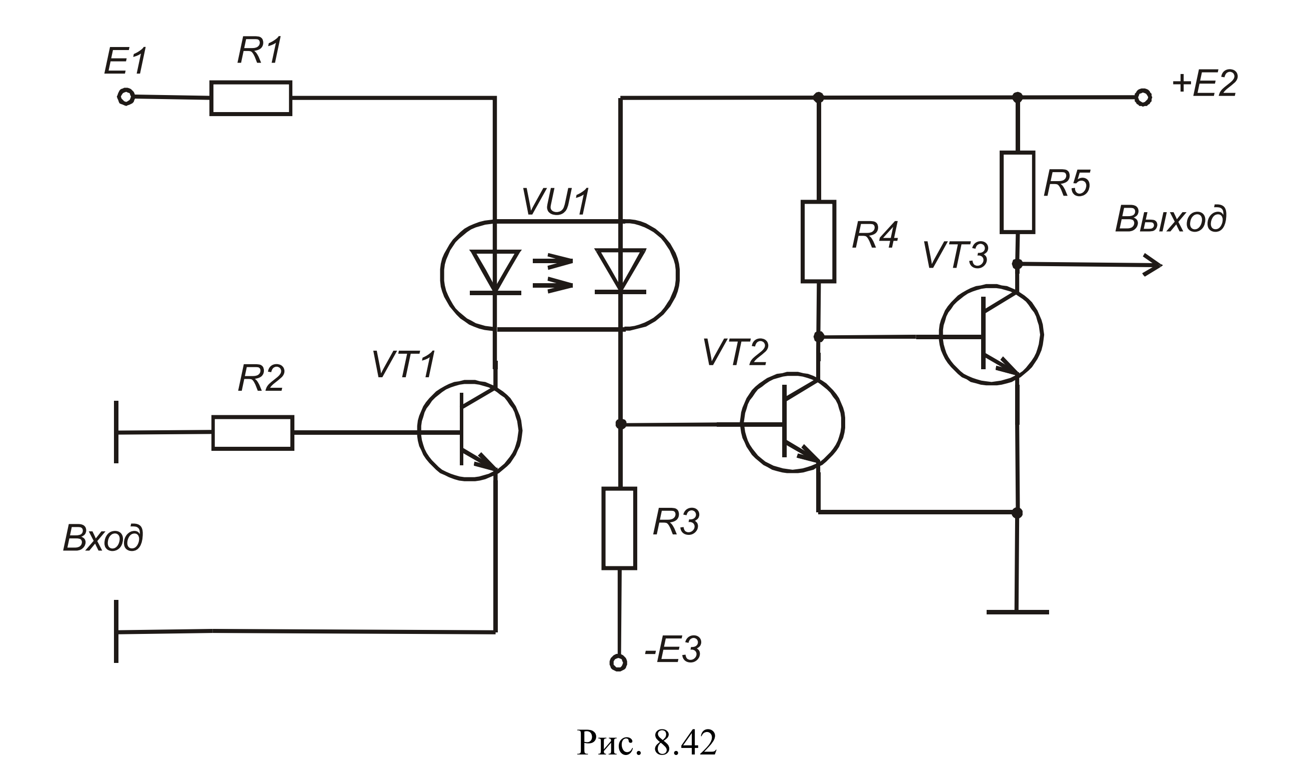


Рис. 8.42